

АКТИВНЫЕ ГАЛАКТИКИ

Э. Е. ХАЧИКЯН

Сейчас трудно представить, что лет 45—50 тому назад мы не имели понятия о существовании других галактик кроме нашей Галактики с большой буквы. Только благодаря интенсивным исследованиям американского астронома Хаббла [1], в распоряжении которого находился крупнейший в то время 2,5-м телескоп, в середине 20-х годов стало ясно, что существуют и другие гигантские звездные миры вне нашей Галактики.

Однако в последующие двадцать пять лет каких-либо принципиально новых открытий в этой области почти не было. В основном велись лишь интенсивные работы по классификации форм галактик и их фотометрированию. Мало кто обращал внимание на центральные области галактик — ядра, которые являются между тем характерной деталью почти всех галактик высокой светимости. Галактики представлялись вполне оформившимися устойчивыми системами с богатым прошлым, и никто не предполагал, что они могут претерпеть в будущем коренные изменения, и тем более, что причиной этого окажутся именно ядра. Говорить об активности галактик в то время означало подвергать себя гневной критике и вызывать в лучшем случае ироническую улыбку.

В. А. Амбарцумян был первым, кто обратил внимание на специфические динамические явления в галактиках, имеющие прямую связь с их ядрами. Начиная с 1956 года он выдвигает и развивает концепцию о фундаментальной роли ядер галактик в их эволюции [2—4]. Стимулом для этой концепции послужил ряд важных открытий во внегалактической астрономии, сделанных в конце 40-х и в начале 50-х годов.

В 1949 году были открыты радиогалактики [5]. В 1954 году Бааде и Минковский [6] отождествили один из мощных радиоисточников Лебедь-А с галактикой, имеющей два ядра. О необычных физических процессах и сильных турбулентных движениях в этой галактике говорили широкие, интенсивные эмиссионные линии, наблюдаемые в спектре этой галактики. Такая же картина наблюдалась и у радиоисточника Персей-А. Затем были выявлены выбросы, струи и голубые сгущения из ядер гигантских эллиптических галактик, представляющие из себя конгломераты облаков релятивистских электронов, газа и горячих звезд. Большинство из этих выбросов и сгущений было открыто в Бюраканской обсерватории.

В 1956 году мексиканский астроном Аро [7] обнаружил 44 галактики совершенно необычного для нормальных галактик цвета — голубого. Следует особо отметить также очень важную работу К. Сейферта [8], выполненную еще в 1943 г., но оставшуюся без внимания почти двадцать лет. Исследованные им галактики выделяются большой светимостью их

ядер и, что особенно важно, необычно широкими бальмеровскими эмиссионными линиями. Большая ширина эмиссионных линий указывает на то, что в ядрах этих галактик, получивших название «сейфертовских», турбулентные движения газовых облаков имеют скорости более 3000 км/с.

Все эти факты свидетельствуют о том, что в ядрах некоторых галактик происходят грандиозные физические процессы, сопровождающиеся выделением огромных энергий, не вмещающихся в рамки тепловых механизмов. Это и есть, согласно концепции В. А. Амбарцумяна, проявление активности ядер галактик.

Активность галактик проявляется в различных формах и в различных масштабах. Наиболее активными формами, связанными с выделением наибольшего количества энергии, являются:

1) радиовспышки, приводящие к превращению галактики на некоторое время в радиогалактику;

2) взрывы, сопровождающиеся выбросом протяженных газовых облаков с массой порядка миллионов солнечных масс;

3) выбросы струй и компактных голубых карликовых галактик. В последнем случае возможно также деление ядра на два и более сравнимых компонента, дающих начало образованию кратных галактик. Такие галактики по праву можно назвать взрывающимися, хотя в действительности взрывается не сама галактика, а ее ядро. Наличие какой-либо из этих форм активности позволяет назвать галактику активной.

В Бюраканской обсерватории в конце 50-х годов были начаты поиски галактик с активными ядрами. В. А. Амбарцумян и Р. К. Шахбазян [9] обнаружили голубые выбросы и сгущения, связанные с активными эллиптическими галактиками. Затем Б. Е. Маркаряном были открыты галактики с ультрафиолетовым континуумом [10], число которых к настоящему времени доходит до 1500. Эти галактики отличаются необычным голубым цветом и избытком ультрафиолетового излучения по сравнению с нормальными галактиками. В последние годы М. А. Казаряном [11] также опубликованы списки галактик с ультрафиолетовым избытком.

Первые же детальные спектральные исследования этих галактик, выполненные сначала автором [12], а затем автором совместно с американскими астрономами [13—15], показали, что большинство галактик Маркаряна обладает тем или иным признаком активности.

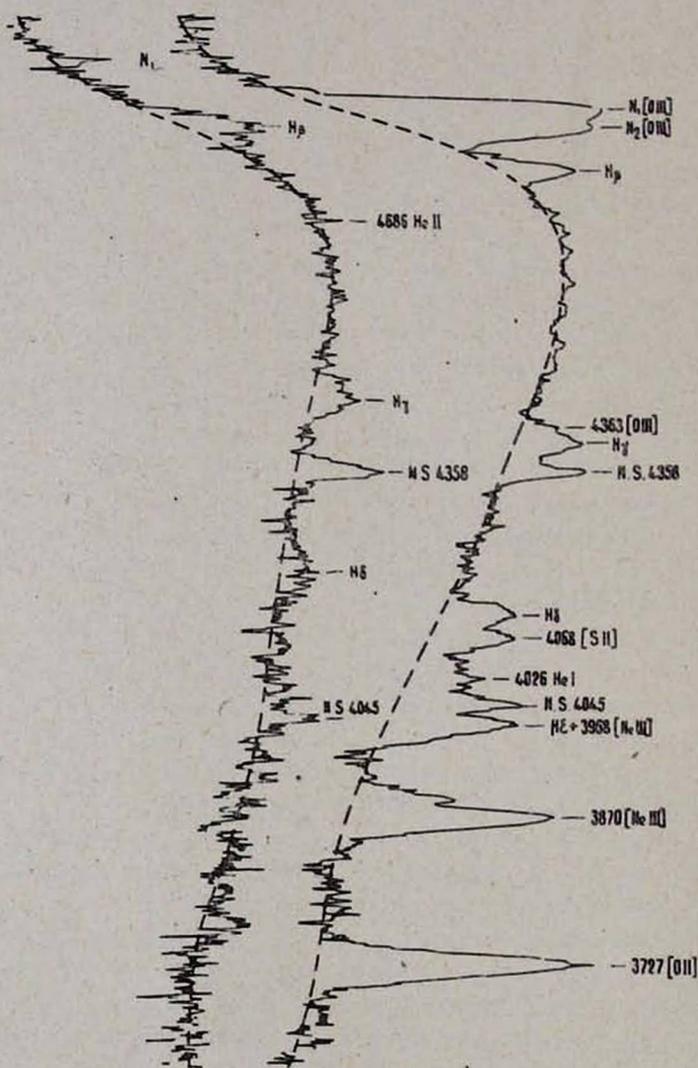
Большой процент объектов Маркаряна (более 85%) имеет эмиссионный спектр, что уже является признаком активности. Дело в том, что подавляющее большинство нормальных галактик, как и наше Солнце, имеет абсорбционный спектр, т. е. спектр с линиями поглощения. Это и понятно, ведь галактики в основном построены из карликовых желтых и красных звезд типа нашего Солнца. А спектр галактик представляет собой наложение спектров (интегральный спектр) миллионов и миллионов таких звезд. Эмиссионные линии в спектрах нормальных галактик встречаются чрезвычайно редко. Отсюда и понятно, почему маркаряновские объекты, у 85% которых наблюдаются эмиссионные линии, являются активными объектами.

Рассмотрим несколько характерных примеров активности, выявленных у маркарянских галактик, причем по степени активности эти объекты значительно отличаются друг от друга.

1. Сейфертовские галактики

Около 10% галактик Маркаряна по своим спектральным характеристикам не отличаются от вышеописанных сейфертовских галактик. Благодаря этому обстоятельству сейчас уже известно более 150 галактик сей-

Рис. 1. Регистрограмма спектров сейфертовской галактики первого типа Маркарян 10 (слева) и второго типа Маркарян 3; запрещенные линии у последней очень интенсивны и широки.



фертовского типа. Отметим, что классических сейфертовских галактик было менее десяти.

Спектральное исследование ряда галактик сейфертовского типа из списков Маркаряна, выполненное автором совместно с Д. Видманом [16], привело к обнаружению двух типов таких галактик. Галактики первого типа имеют широкие и яркие эмиссионные линии водорода из серии Бальмера, а запрещенные линии азота, кислорода, неона и др. элементов — очень узкие и слабые. Ширина водородных линий в этих галактиках соответствует доплеровским скоростям порядка 3000—5000 км/с и больше. В то же самое время их ядра компактны и звездообразны, как квазары.

В спектрах же сейфертовских галактик второго типа широкими являются практически все линии, как водородные, так и запрещенные. Для наглядности на рис. 1 приведены регистрограммы спектров галактик Маркаряна 10 (первого типа, снимок слева) и Маркаряна 3 (второго типа). Хотя эти галактики уступают галактикам первого типа по своим светимостям и величине ультрафиолетового избытка, однако активность их ядер довольно высока.

Чтобы иметь представление об энергетике сейфертовских галактик, отметим, что сейфертовские галактики первого типа излучают энергию в пределах от 10^{12} до 10^{46} эрг/с. Кроме этой огромной энергии, излучаемой сейфертовскими галактиками, в их ядрах нередко наблюдаются крупномасштабные взрывоподобные явления. Например, у сейфертовской галактики второго типа, занимающей шестой номер в списках Маркаряна, впервые наблюдаются спектральные изменения, свидетельствующие в пользу взрыва в ее ядре [17]. Спектральные наблюдения этой галактики проводились с перерывами на протяжении трех лет. В течение одного года в ее спектре появились эмиссионные компоненты у водородных линий H_{α} и H_{β} , смещенные в сторону коротких длин волн на величину, соответствующую доплеровской скорости около 3000 км/с (рис. 2).

Эти данные говорят о том, что в ядре этой галактики произошел взрыв, вследствие чего из него было выброшено водородное облако в не-

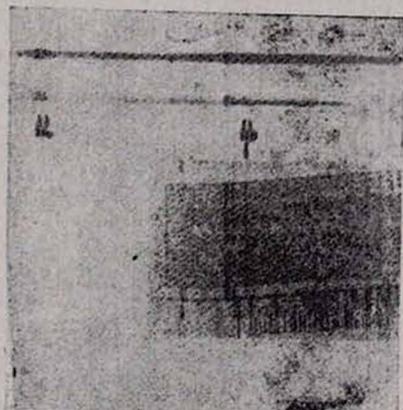


Рис. 2. Спектры Маркаряна 6, полученные до взрыва в ядре (нижний снимок) и после него. На верхних спектрах видны вновь появившиеся компоненты у линий H_{α} и H_{β} .

сколько сот солнечных масс в сторону Земли со скоростью 3000 км/с в проекции на луч зрения.

2. Галактики с «расщепленными ядрами»

Ряд галактик с ультрафиолетовым избытком в своих центральных областях не имеет определенного одного ядра, а состоит из отдельных ярких сгущений, часто погруженных в диффузную оболочку. В спектрах этих сгущений наблюдаются яркие эмиссионные линии водорода и запрещенные линии однажды ионизированных серы, азота, кислорода, дважды ионизированного кислорода, неона, т. е. те же линии, что и в спектрах сейфертовских галактик. Однако в отличие от сейфертовских галактик ширина этих линий небольшая и по порядку сравнима с инструментальной. Что же представляют собой эти сгущения? По своим спектральным и фотометрическим характеристикам они похожи на сверхассоциации или, как их иначе называют, гигантские области H II, состоящие в основном из молодых, горячих звезд. Светимость таких сверхассоциаций доходит до нескольких миллиардов солнечной светимости. Во многих случаях лучевые скорости отдельных сгущений в одной и той же галактике различаются на несколько сот км/с.



Рис. 3.

Рис. 3. Фотография NGC 6306, полученная на 6-м телескопе. Хорошо видны отдельные сгущения в центральной области галактики.

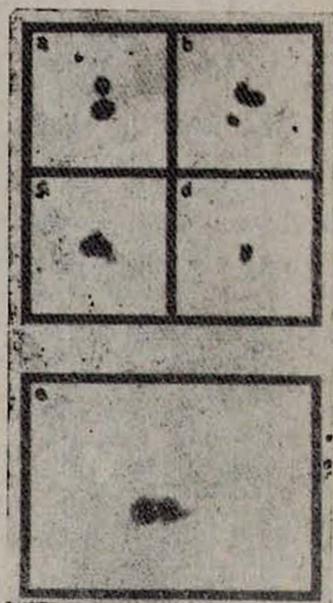


Рис. 4.

Рис. 4. Галактики с двойными ядрами: а) Маркарян 480; б) Маркарян 551; в) Маркарян 739; д) Маркарян 930; е) Маркарян 212.

Ядра таких галактик, по-видимому, вследствие большой активности расщеплены на отдельные сгущения, которые, в свою очередь, являются центрами активного звездообразования. К этому типу галактик относятся, например, Маркарян 7, 8, 325 и др. Фотография галактики NGC 6306,

включенной в список Казаряна, представлена на рис. 3. Она имеет пять сгущений в центре, от которых в двух противоположных направлениях отходят прямолинейные струи.

К этому типу галактик можно отнести «объекты-близнецы», составляющие вместе с галактиками Маркаряна 261 и 262 одну физическую систему [18]. В данном случае мы имеем лишь два совершенно похожих сгущения — сверхассоциации, причем как бы «голых», лишенных диффузной оболочки. Их внешний вид, размеры, светимости, спектры и лучевые скорости совершенно одинаковы. Расстояние между ними для космических масштабов совершенно ничтожно — 4 кпс. Естественно напрашивается вывод о том, что они образовались в результате деления первоначального тела на два объекта.

3. Галактики с кратными ядрами

Как уже отмечалось выше, одной из возможных форм активности является деление ядра и образование кратных галактик. Недавно автору с коллегами [19] удалось показать, что среди галактик с ультрафиолетовым избытком нередко встречаются объекты с двойными и кратными ядрами. Здесь мы хотели бы остановиться на последних исследованиях двухядерных галактик, выполненных в Бюракане. Относительно этих объектов получен ряд интересных данных. Из них отметим следующие: а) размеры компонент-ядер находятся в пределах от 1 до 3 кпс; б) расстояние между ними в большинстве случаев не превосходит 4 кпс, т. е. ничтожно мало по сравнению с размерами нормальных галактик; в) абсолютные звездные величины компонент-ядер доходят до -18^m ; что сравнимо с таковыми гигантских галактик; г) по мере увеличения расстояния между компонентами в них чаще появляются новые структурные детали — выбросы, спиральные рукава в начальной стадии (см. рис. 4). Интересно отметить такую деталь: размеры компонент у кратных ядер меньше, чем у двойных ядер. Эти данные можно интерпретировать в рамках гипотезы о делении первоначально плотного ядра с большой массой на компоненты, удалении их друг от друга и формировании отдельных структурных деталей. Большой интерес представляют детальные спектральные исследования некоторых галактик с двойными ядрами, выполненные на крупнейшем в мире 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории АН СССР. Благодаря высокому разрешению 6-м телескопа удалось сфотографировать спектры компонент ядер в отдельности. Подобные наблюдения за рубежом еще не выполнялись. Такие наблюдения представляли особый интерес для сейфертовских галактик, так как были найдены сейфертовские галактики, имеющие двойные ядра. Важно было установить, какой из компонент ядер ответственен за сейфертовский спектр. А может быть оба компонента ядра показывают спектральные признаки сейфертовского типа?

Ответы на эти вопросы были получены с помощью 6-м телескопа. Выяснилось, что компоненты двойных ядер не сейфертовских галактик спектроскопически не всегда тождественны и иногда сильно отличаются как по

виду спектра, так и по силе непрерывного спектра и интенсивности линий. Но почти во всех случаях оба компонента показывали эмиссионный спектр, причем ширина линий была небольшой [20].

Что же касается сейфертовских галактик, то относительно них получены весьма любопытные данные [21]. Были исследованы четыре галактики, причисляемые к сейфертовским: Маркарян 463, 673, 739, 789 и галактика Маркарян 266, которая, как это выяснилось в дальнейшем, также имеет слабые признаки сейфертовских галактик второго типа. Оказалось, что у Маркарян 463, 673, 789 спектры обоих компонентов в большей или меньшей мере характерны для сейфертовских галактик второго типа. Кроме того у Маркарян 789 эмиссионные линии одного из ядер имеют компоненты, подобные тем, какие наблюдаются у Маркарян 6 (см. выше), но смещенные уже в длинноволновую область спектра на величину, соответствующую доплеровской скорости примерно 300 км/с.

У Маркарян 739 одно из ядер имеет типичный спектр сейфертовской галактики первого типа, а другое — спектр с узкими и сравнительно слабыми линиями (рис. 5).



Рис. 5. Спектры ядер сейфертовской галактики Маркарян 739 у линии H_{α} . У одного из ядер линия H_{α} очень интенсивная и широкая (нижний спектр).

Особый интерес среди галактик с двойными ядрами представляет Маркарян 266. Ее ядро состоит из двух очень ярких сгущений, от которых берут начало слабые спиральные рукава. Галактика погружена в диффузную оболочку. В спектрах компонентов ядра наблюдаются те же эмиссионные линии, что и у сейфертовских галактик, но их ширина сравнительно мала, но тем не менее достаточно широка, чтобы причислить оба компонента или ядра к сейфертовским галактикам второго типа (рис. 6).

Но самым интересным является обнаружение того факта, что ядра вращаются в противоположные стороны, что хорошо видно на рис. 6 по наклону эмиссионных линий. Яркое из ядер вращается со скоростью около 130 км/с, слабое — со скоростью 290 км/с, причем их соприкасающиеся области удаляются от нас. Кроме того, центры ядер имеют разные лучевые скорости, и она достигает 280 км/с. Пока трудно сказать определенно, обусловлена ли эта разность орбитальным вращением ядер вокруг центра

масс или просто удалением их друг от друга. Во всяком случае на основании этих данных можно вычислить некоторые физические параметры системы. Например, массы ядер равны $3 \cdot 10^{10}$ и $7 \cdot 10^9$ солнечных масс, их моменты вращения составляют примерно 10^{72} и 10^{73} г·см²/с, а орбитальный момент — $4 \cdot 10^{72}$ г·см²/с. Если ядра рассматривать как разлетающуюся систему, то можно оценить энергию разрыва, которая оказалась порядка $8 \cdot 10^{57}$ эрг.

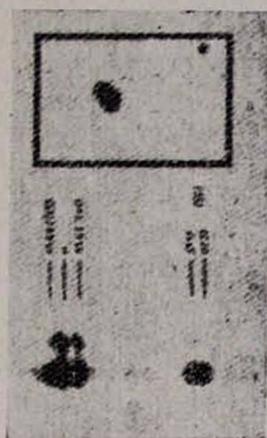


Рис. 6.

Рис. 6. Фотография и спектр Маркария 266.

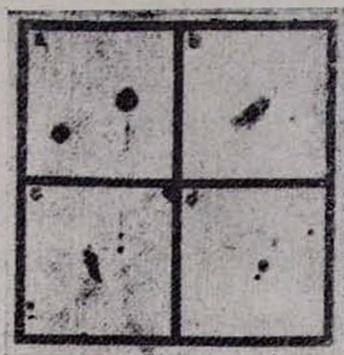


Рис. 7.

Рис. 7. Галактики, имеющие различную морфологическую структуру и одинаковые звездообразные ядра, но показывающие разную степень активности: а) Маркария 9; б) Маркария 10; в) Маркария 305; д) Казарян 73.

Все эти данные позволяют сделать важное заключение. Существование двухъядерных галактик не исключает того, что лишь один из компонентов ядра имеет действительно ядерную природу, а другой является лишь сверхассоциацией, ибо, как уже отмечалось, спектры многих двойных ядер не отличаются фактически от спектров сверхассоциаций. Но существование галактик с двумя ядрами, когда оба они обладают характеристиками сейфертовских ядер, доказывает возможность существования галактик с двумя ядрами.

Заключение

Таким образом, можно сделать общий вывод о том, что многим галактикам с ультрафиолетовым избытком свойственны те или иные формы активности. И хотя они иногда сильно отличаются своими морфологическими характеристиками и формой активности, всех их объединяет наличие ультрафиолетового избытка. Как было показано выше, схожи и их спектры, хотя наблюдаются различия в деталях и ширине эмиссионных линий.

Сопоставляя эти данные, можно предположить, что активность рассмотренных галактик имеет общую природу, и она связана именно с ядром или центральной областью галактик.

Активность мало зависит от морфологии внешних частей галактик. Но интересно, что и внешний вид ядра также однозначно не определяет форму активности. Так, например, галактики Маркарян 9 и 10, а также Казарян 102 сильно отличаются друг от друга. Маркарян 9—компактная галактика, Маркарян 10—гигантская спиральная система диаметром 55 кпс, а Казарян 102—квазизвездный объект. Но несмотря на все это они являются сейфертовскими галактиками первого типа. Сильно отличаются по активности две спиральные галактики с яркими, почти звездообразными ядрами—Маркарян 10 и Казарян 73. Как отмечалось выше, Маркарян 10—очень активная галактика типа сейферта, а Казарян 73—нет. А звездообразная галактика Маркарян 305 вообще не имеет эмиссионных линий в спектре.

Следовательно, звездообразные объекты—будь то ядро спиральной галактики или просто «голое» ядро—демонстрируют совершенно различные формы активности. Но если это так, если форма активности не зависит от внешних и внутренних морфологических особенностей галактик, то естественно предположить, что решающую роль здесь играет какой-то неизвестный агент, являющийся составной частью любого ядра, но по-разному проявляющий себя. Возможно, что этот агент и есть то сверхплотное дозвездное вещество, существование которого впервые предположил В. А. Амбарцумян.

ЛИТЕРАТУРА

1. E. Hubble. *Ap. J.*, 63, 236 (1926).
2. В. А. Амбарцумян. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, 11, 9 (1958).
3. V. A. Ambartsumian. *Trans. IAU XI B, Academic Press, London—New York, 1962, p. 145.*
4. V. A. Ambartsumian. *The Structure and Evolution of Galaxies, Interscience Publ., London, 1965, p. 1.*
5. J. G. Bolton, G. J. Stanley, O. B. Slee. *Nature*, 164, 101 (1949).
6. W. Baade, R. Minkowski. *Ap. J.*, 119, 205 (1954).
7. G. Haro. *Bol. Obs., Tonantzintla*, 14, 8 (1956).
8. K. Seyfert. *Ap. J.*, 97, 28 (1943).
9. В. А. Амбарцумян, Р. К. Шахбазян. *ДАН АрмССР*, 25, 185 (1957).
10. Б. Е. Маркарян. *Астрофизика*, 3, 55 (1967).
11. М. А. Казарян. *Астрофизика*, 15, 5 (1979).
12. Е. Ye. Khachikian. *Astronom. J.*, 73, 891 (1968).
13. H. C. Arp, E. Ye. Khachikian, G. R. Lynds, D. W. Weedman. *Ap. J.*, 152, L 103 (1968).
14. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян. *Астрофизика*, 4, 587 (1968).
15. Д. В. Видман, Э. Е. Хачикян. *Астрофизика*, 5, 113 (1969).
16. Е. Ye. Khachikian, D. W. Weedman. *Astrofizika*, 7, 389 (1971).
17. Е. Ye. Khachikian, D. W. Weedman. *Ap. J.*, 164, L 103 (1971).
18. Г. Арп, Дж. Айдман, Э. Е. Хачикян. *Астрофизика*, 10, 7 (1974).
19. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян. *Астрофизика*, 14, 69 (1978).
20. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян. *Астрофизика*, 15, 209 (1979).
21. А. Р. Петросян, К. А. Саакян, Э. Е. Хачикян. *Астрофизика*, 15, 373 (1979).

ԱԿՏԻՎ ԳԱԼԱՔՏԻԿԱՆՆԵՐ

Է. Ե. ԽԱՉԻԿԻԱՆ

Բերված են ուլտրամանուշակագույն կոնտինուումով դալատիկաների լուսաչափական և սպեկտրալ ուսումնասիրության արդյունքները: Պարզարանված է, որ նրանցից շատերը ցուցաբերում են այս կամ այն ձևի ակտիվություն: Ազդակազդում է, որ ակտիվության աստիճանը կախված չէ ինչպես դալատիկայի ձևից, այնպես էլ աստղանման միջուկի առկայությունից:

THE ACTIVE GALAXIES

E. Ye. KHACHIKIAN

The results of photometry and spectroscopy of some UV-galaxies are presented. It is shown that many of them have some or other form of activity. A conclusion is drawn that the form of activity is independent of the morphology and of the presence of a starlike nucleus.